

AZ ENERGIÁRÓL

KÖVESDI PÁL

E cikk célja kettős. Először: A. alatt megkísérli egy olyan energiakép megrajzolását, amely figyelembe veszi a közelhatás elvét és a speciális relativitáselmélet idevonatkozó eredményeit, továbbá kifejti az energia és munka, illetőleg az energia és hő kapcsolatát a fizika mai álláspontja szerint. Másodszor: B. alatt röviden rá kíván mutatni arra, hogy az első részben vázoltak hogyan tükröződnek a jelenlegi általános iskolai fizika tankönyvben.

A. Az energia a fizika egyik legáltalánosabb fogalma. Definíciója — mint a legáltalánosabb fogalmaké általában — különösképpen nehéz. A fizikakönyvek, lexikonok szinte mindegyike azt mondja, hogy „az energia munkavégzőképesség”. Ez a definíció azonban a fizika jelenlegi álláspontja szerint hibás, mert *a)* az energia nem képesség, hanem csak képesség mennyiségi jellemzője; *b)* az energia általánosabb fogalom lévén, mint a munka, belőle kell a munkát meghatározni, s nem pedig fordítva — mint az idézett definíció teszi. Az energiának ezt a definícióját tehát — elterjedtsége ellenére — nem tartjuk megfelelőnek. JAVORSZKIJ—DETLAF szerint az energia a mozgás különböző formáinak egységes mértéke [2]. Ez a definíció túl filozofikus, s a természettudományokban nem igen tarthat számot széles körű elterjedésre. Néhány fizikus — köztük FEYMAN Nobel-díjas fizikus is — az energiát az energiamegmaradás oldaláról megközelítve kívánja értelmezni [3]. Ezekhez csatlakozva mi is azt mondjuk, hogy minden testre, illetőleg testek bármely rendszerére megadható egy, a test, illetőleg rendszer állapotára jellemző olyan *extenzív skalár mennyiség, amely* — ha a test, illetőleg rendszer nincs kölcsönhatásban környezetével — *állandó marad*, bármilyen változás is következék be a testben, illetőleg a rendszerben. Ez a „megmaradó” skalármennyiség *az energia*.

Ha a közelhatástól egyelőre eltekintünk, akkor egy test energiájának legáltalánosabb kifejezését a speciális relativitáselmélet — amely tulajdonképpen a klasszikus fizikának a fény sebességét megközelítő sebességekre való általánosítása — adja. E szerint egy test összenergiája

$$E = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2 = m c^2, \quad (1)$$

ahol m_0 a test nyugalmi tömege (vagyis az a tömeg, amelyet abban az inerciarendszerben mérünk, amelyben a test nyugalomban van), v a test sebessége, c pedig a fény vákuumbeli sebessége. Az

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

tömeget relativisztikus tömegnek szokás nevezni. Ha az (1)-et

$$\frac{1}{\sqrt{1-x}} = 1 + \frac{1}{2}x + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}x^2 + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}x^3 + \dots \quad (|x| < 1)$$

alapján sorbafejtjük $\left(x = \frac{v^2}{c^2}\right)$, akkor

$$E = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{3}{8} m_0 v^2 \left(\frac{v^2}{c^2}\right) + \frac{15}{48} m_0 v^2 \left(\frac{v^2}{c^2}\right)^2 + \dots = E_0 + K, \quad (2)$$

ahol $E_0 = m_0 c^2$ a test nyugalmi (tömeg-) energiája, és

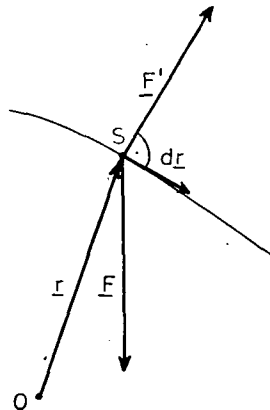
$$K = \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{3}{8} m_0 v^2 \left(\frac{v^2}{c^2}\right) + \frac{15}{48} m_0 v^2 \left(\frac{v^2}{c^2}\right)^2 + \dots$$

a test relativisztikus kinetikai energiája. Vegyük észre, hogy amennyiben $v \ll c$, akkor $K \approx \frac{1}{2} m_0 v^2$, vagyis a relativisztikus kinetikai energia formulája a jól ismert kinetikai energia formulájába megy át. Ha tehát a közelhatás elvére nem vagyunk tekintettel, akkor (2) alapján egy testnek csupán nyugalmi és mozgási energiája lehet.

Ha a közelhatás elvét is figyelembe vesszük, vagyis tekintettel vagyunk arra, hogy egy test egy vele nem érintkező másik testre csak valamilyen mező közvetítésével hathat, akkor fel kell tennünk, hogy minden testhez — mint egészhez — elválaszthatatlanul egy (esetleg több „komponensből” álló) konzervatív mező is kapcsolódik. Ez esetben a test eddig megismert energiáihoz még ennek a mezőnek E_m energiája is hozzászámítódik, vagyis a mezőjével együtt tekintett test E összenergiája:

$$E = E_0 + K + E_m.$$

(A következőkben ettől, a test körüli — E_m energiájú — külső mezőtől megkülönböztetjük a test mezőjének a test belsejében levő részét, a belső mezőt, amelynek $E_{o,m}$ energiáját a test nyugalmi energiája részeként tekintjük. A testhez tartozó, való-



1. ábra. F , ill. F' a testre ható szabad-, ill. kényszererők eredője

jában oszthatatlan mezőnek külső és belső mezőre való szétbontását nemcsak a két mező „szerkezetének” és „koncentráltságának” eltérő jellege indokolja, hanem az is, hogy a testek makroszkopikus kölcsönhatásaiban igen sokszor csak a külső mező változását szükséges figyelembe vennünk.)

Végezzen egy tömegpontnak tekinthető test sűrűlódás nélkül haladó kényszermozgást $v \ll c$ sebességgel. A test S tömegközéppontjának pályáját, S -nek a t időpillanatbeli helyét, és dt idő alatti dr elmozdulását, valamint a tömegközéppontban a t időpillanatban támadó erővektorokat az 1. ábra mutatja. Mozgás közben a test nyugalmi energiája és mezőenergiája ne változzék, vagyis $E_0 + E_m = \text{konst.}$ Ekkor a test összenergiája: $E = K \approx \frac{1}{2} m_0 v^2$. Számítsuk ki a test kinetikus energiájának olyan rövid dt idő alatti megváltozását, amely alatt

a) az S ds útja jó közelítéssel egyenlő a dr elmozdulásvektor abszolút értékével, vagyis $ds \approx |dr|$;

b) az S útja jó közelítéssel egyenletes: $ds \approx v dt$, illetőleg $dr \approx v dt$.

Ekkor

$$dE = dK = d\left(\frac{1}{2} m_0 v^2\right) = m_0 v \cdot dv. \quad (3)$$

Az anyagi pont $p = m_0 v$ lendületéből kapott $dp = m_0 dv$ kifejezést (3)-ba helyettesítve

$$\begin{aligned} dK &= dp \cdot v = \frac{dp}{dt} \cdot v dt = (F + F') \cdot dr = \\ &= (F \cdot dr = F ds \cos(F, dr) = F_s ds) = dW \end{aligned} \quad (4)$$

összefüggésre jutunk, ahol a tömegpontban támadó összes erők eredőjének dr -rel való pontszorzatát az eredő erő ds úton végzett dW munkájaként definiáljuk. Ezt figyelembe véve (4) fizikai tartalma: egy test (anyagi pont) kinetikai energiájának megváltozása mindig munkavégzéssel kapcsolatos. Az energia megváltozását az anyagi ponton támadó erők eredőjének munkája adja. *A munka tehát az anyagi pont kinetikai energiájának megváltozását méri.*

Tekintsük ezek után egymással kölcsönhatásban levő anyagi pontnak tekinthető testek rendszerét. A rendszer tagjait alkotó testek között a kölcsönhatást, a közelhatás elvének megfelelően, a testekhez kapcsolódó mező létesíti. A rendszer bármely konfigurációjához (elrendeződéséhez) definiálható egy energia, az ún. *kölcsönhatási energia*. Ez azt a *mezőenergia-változást* jelenti, amely a rendszernek egy önkényesen választott kiindulási konfigurációjából az adott konfigurációba történő kvázisztatikus átmeneténél következik be.

Az elmondottakat matematikailag először két tömegpontból álló konzervatív rendszerre írjuk fel. A rendszer kezdeti konfigurációjában a két tömeg egymástól nagy („végtelen”) távolságban van. Egymásra kifejtett hatásuk ekkor gyakorlatilag zérus. Tegyük fel továbbá, hogy ebben a konfigurációban mindkét tömegpont nyugszik, vagyis $K_1 = K_2 = 0$. Ez esetben a rendszer összenergiája

$$E = E_{0,1} + E_{0,2} + E_{m,\infty}.$$

Menjen át a rendszer az induló konfigurációból kvázisztatikusan egy I-gyel jelzett konfigurációba úgy, hogy közben a testek nyugalmi energiája ne változzék. Ebben az elrendeződésben

$$E_1 = E_{0,1} + E_{0,2} + E_{m,1}.$$

A bekövetkezett energiaváltozás, amely teljes egészében a konfiguráció-változás miatt bekövetkező mezőenergia változás, definíció szerint a rendszer I. konfigurációjához tartozó U_1 kölcsönhatási energia (a kiindulási, vagy viszonyítási konfigurációra vonatkoztatva):

$$U_1 = E_{m,1} - E_{m,\infty}. \quad (5)$$

A definícióból következik, hogy *egy rendszernek a viszonyítási konfigurációra vonatkoztatott kölcsönhatási energiája mindig zérus.*

Ha a kiindulási elrendeződésből rendszerünk egy, a I-től különböző, II-vel jelzett konfigurációba kerül, akkor

$$U_{II} = E_{m,II} - E_{m,\infty}. \quad (6)$$

(5)- és (6)-ból

$$U_{II} - U_I = E_{m,II} - E_{m,I},$$

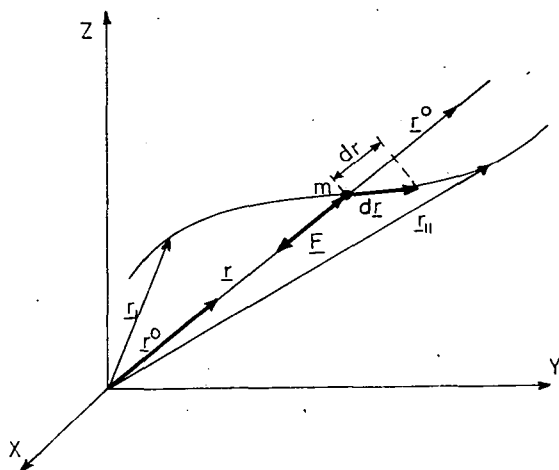
vagyis *a két konfigurációhoz tartozó kölcsönhatási energia különbsége egyenlő az egyik konfigurációból a másikba történő átmenetnél bekövetkező mezőenergia változással.* A mezőenergiát azonban általában nem tudjuk meghatározni, így a mező energia-változását is csak a meghatározható kölcsönhatási energiák különbségéből számíthatjuk ki.

Minden, amit két tömegpontra elmondottunk, tetszés szerinti számú tömegpontra is általánosítható, hiszen a több tömegpontból álló rendszer bármely konfigurációját — gondolatban — lépésenként hozhatjuk létre: a kiindulási konfigurációból először az 1., majd a 2., azt követően a 3. s. i. t. tömegpontot mozgatjuk az I. konfigurációban meghatározott helyére. Minden egyes részecske elmozdulásánál változik a mezőenergia, és ezen mezőenergia-változások algebrai összege adja a kérdéses konfigurációnak a kiindulási konfigurációhoz viszonyított kölcsönhatási energiáját.

A kölcsönhatási energia — mint az igen könnyen belátható — csak *egy additív állandó erejéig meghatározott.* Továbbá az is természetes, hogy *ennek az energiafogalomnak* — mint erre már utaltunk — *csak akkor van értelme, ha kölcsönhatást létesítő mező konzervatív,* vagyis a konfigurációk kialakítása közben bekövetkező mezőenergia-változások függetlenek attól az úttól, amelyben az anyagi pont a kiindulási helyről a végpontba kerül. A továbbiakban is csak konzervatív mezőkkel fogunk foglalkozni.

A következőkben — példaként — számítsuk ki a Földből, egy próbatestből és a köztük kölcsönhatást létesítő gravitációs mezőből álló rendszer kölcsönhatási energiáját. Ha M , ill. m jelenti a Föld, ill. próbatest tömegét, akkor $M \gg m$ miatt feltehetjük, hogy egyrészt a próbatest gravitációs mezője a Föld gravitációs mezőjéhez képest elhanyagolható, másrészt pedig a Föld a próbatest elmozdításakor nem változtatja meg a helyét.

Feladatunk megoldása érdekében a nyugvónak gondolt Föld M tömegű tömegközéppontjához rögzítsük egy derékszögű Descartes-féle koordináta-rendszer origóját. (2. ábra.) A m tömegű próbatest legyen M -től r_1 távolságban (I. konfiguráció). Kerüljön m kvázisztatikus módon az r_{II} helyvektor által jellemzett pontba (II. konfiguráció). A konfiguráció-változás miatt bekövetkező kölcsönhatási energia-változás erőhatás és elmozdulás közben következett be, vagyis értékét a külső erő



2. ábra

munkája adja. Kvázisztatikus folyamatban ez az erő minden pillanatban a Föld gravitációs mezője által a m tömegű testre kifejtett erőhatás -1 -szerese. A Föld gravitációs mezője az r helyvektorú pontban m -re

$$\underline{F} = \underline{G}m = -f \frac{M}{r^2} m \underline{r}^0$$

erőt gyakorol, ahol $\underline{G} = -f \frac{M}{r^2} \underline{r}^0$ a gravitációs térerősség az r végpontjában (\underline{r}^0 az r irányába mutató egységvektor). A külső erő munkája $d\vec{r}$ elemi elmozdulás esetén..

$$dW = f \frac{Mm}{r^2} \underline{r}^0 \cdot d\vec{r} = f \frac{Mm}{r^2} dr.$$

Az r_I által jellemzett pontból az r_{II} által jellemzett pontba való elmozdulás közben.. végzett munka

$$W_{II,I} = \int_{r_I}^{r_{II}} f \frac{Mm}{r^2} dr = -f \frac{Mm}{r_{II}} + f \frac{Mm}{r_I} = U_{II} - U_I.$$

Ebből általában

$$U(r) = -f \frac{Mm}{r}, \quad (7)$$

vagyis a kölcsönhatási energiája a tekintett Föld-gravitációs mező-próbatest rendszernek negatív értékeket felvéve növekszik, ha a Föld tömegközéppontja és a próbatest közötti távolság nagyobb lesz. A kölcsönhatási energia maximumát akkor éri el, amikor m -nek M -tól mért távolsága igen nagy („végtelen”). Értéke ekkor zérus. Ehhez az energiaértékhez tartozó konfiguráció a rendszer kölcsönhatási energiájának „természetes” viszonyítási konfigurációja.

Azon tény miatt, hogy a kölcsönhatási energia csak egy additív állandó erejéig meghatározott mennyiség, a kölcsönhatási energia zéruspontját bárhol felvehetjük. Ez más szavakkal: a viszonyítási elrendeződés bármilyen konfiguráció lehet. A tárgyalt rendszernél — a negatív energiaértékeket elkerülendő — szokás a kölcsönhatási energia zéruspontjául a Föld felszínét választani. E célból (7)-hez az $f \frac{Mm}{R}$ állandót adjuk (R a Föld sugara), s az így kapott

$$U'(r) = -f \frac{Mm}{r} + f \frac{Mm}{R}$$

kölcsönhatási energia zéruspontja a Föld felszínén van:

$$U'(R) = 0.$$

Számítsuk ki az $U'(R+h)$ értékét, ha $h \ll R$.

$$U'(R+h) = -f \frac{Mm}{R+h} + f \frac{Mm}{R} = fMm \frac{-R+R+h}{(R+h)R} \approx \frac{fM}{R^2} mh = mgh, \quad (8)$$

mert $\frac{fM}{R^2} = g$, a nehézségi gyorsulás.

Mint (7) és (8) mutatja, a Föld-gravitációs mező-próbatest rendszer kölcsönhatási energiája formailag a „m tömegű test (gravitációs) helyzeti energiája”-val egyenlő. A megegyezés nem véletlen, mert ha a gravitációs helyzeti energiát helyesen értelmezzük, akkor az a kölcsönhatási energia egy speciális eseteként tekinthető. $m \ll M$ miatt ugyanis M és m konfigurációját meghatározó r változása csupán m helyének változásától függ, vagyis a kölcsönhatási energia csak m M-hez viszonyított helyzetének a függvénye. Ha tehát a „m helyzeti energiája” kifejezésen a tekintett rendszernek a próbatest helyzete által meghatározott energiáját értjük, akkor ez a helyzeti energia két tömegpont és a közös gravitációs mező alkotta rendszer kölcsönhatási energiája a $m \ll M$ speciális esetre. Ha viszont a „m helyzeti energiája” kifejezésen azt értjük, amit e kifejezés egyébként sugall is, nevezetesen azt, hogy az energia „birtokosa” a test, akkor elvileg hibázunk. A tudományban, de a gyakorlatban is fontos követelmény, hogy a bevezetett elnevezések, sztereotíp kifejezések lényegre mutatóak, s ne félrevezetők legyenek. Ezért a „helyzeti (potenciális) energia” elnevezés helyett célszerűbbnek látszik a kölcsönható partnerekre, s így a kérdéses energiának lényegére utaló kölcsönhatási energia elnevezés használata nemcsak a gravitációs, hanem minden más helyzeti energia helyett is.

A kölcsönhatási energia vázolt általános bevezetése nemcsak azt teszi világossá, hogy ez az energia egy rendszert jellemez, hanem — szemben a helyzeti energia eddigi szokásos bevezetéseivel — a közelhatás elvére épül azzal, hogy a testek között kölcsönhatást létesítő mezőt is a rendszer tagjai közé számítja. Annak megmutatásával pedig, hogy a konfigurációhoz kötött energiaváltozás tulajdonképpen a mező energiaváltozása, a kérdéses fizikai jelenség mélyebb lényegébe enged szemléletes bepillantást.

Térjünk ezek után a testek belső energiájának a tárgyalására. Egy test belső energiáján a test azon energiáját értjük, amely kizárólag a test belső állapotától függ. A relativitáselmélet szerint a test nyugalmi energiája kizárólag a belső állapot függvénye, következésképp a test nyugalmi energiája és a test belső energiája azonos fogal-

mak. Mi a következőkben a belső energia elnevezést fogjuk használni a nyugalmi energia helyett.

Egy test belső energiája az őt alkotó részecskék nyugalmi energiájának és rendezetlen mozgásuk („hőmozgás”) mozgási energiáinak összegéből, valamint a testet alkotó részecskék közötti kölcsönhatást létesítő mező energiájából tevődik össze. Ha az i -ik részecske nyugalmi energiáját $E_0^{(i)}$ -vel, a részecskék hőmozgása kinetikai energiájának összegét K_0 -lal, a részecskék közötti kölcsönhatást létesítő mező energiáját $E_{0,m}$ -mel jelöljük, akkor

$$E_0 = m_0 c^2 = \sum_{i=1}^N E_0^{(i)} + K_0 + E_{0,m}, \quad (9)$$

ahol m_0 a test nyugalmi tömege, N a testet alkotó részecskék száma.

A test belső energiája szoros kapcsolatban van a test tömegével. Ha ugyanis a (9) egyenletet c^2 -tel, vagyis a fény terjedési sebességének négyzetével osztjuk, és figyelembe vesszük, hogy $\frac{E_0^{(i)}}{c^2} = m_0^{(i)}$ (az i -ik részecske nyugalmi tömege), akkor

$$m_0 = \sum_{i=1}^N m_0^{(i)} + \frac{1}{c^2} (K_0 + E_{0,m}). \quad (10)$$

Vegyük észre, hogy $m_0 \neq \sum_{i=1}^N m_0^{(i)}$.

A test belső energiája változásának fontosabb esetei az alábbiak lehetnek.

a) *A nyugalomban levő testen munkavégzés történik.* Ha ennek eredményeképpen a test deformálódik, akkor a részecskék egymáshoz viszonyított helyzetének változása miatt E_0 az $E_{0,m}$ értékének változása miatt változik. Ha a munka súrlódási munka, akkor — a halmazállapot-változás eseteit leszámítva — a test hőmérsékletének emelkedése a test részecskéi átlagos kinetikai energiájának növekedését jelzi, s így E_0 növekedését K_0 növekedése okozza. Ha a súrlódási munka halmazállapot-változást eredményez, akkor a belső energia megváltozása a test részecske szerkezetében bekövetkező változással járó mezőenergia-változás következménye. Mindezen esetekben a végzett munka egyenlő a belső energia növekedésével, vagyis ezt a munkát a belső energia változása mértékeként tekinthetjük. E_0 ezen változásaihoz kapcsolódó tömegváltozás mérhetetlenül kicsi.

b) *A test termikus kölcsönhatásban vesz részt.* Ekkor vagy a test hőmérsékletének változása, vagy a halmazállapot-változás jelzi a belső energia változását, amely az első esetben K_0 , a másodikban $E_{0,m}$ változásának következménye, mint azt már a) alatt láttuk. *A termikus kölcsönhatás közben fellépő belső energiaváltozás a hőmenyiség.* A termikus kölcsönhatásnál bekövetkező tömegváltozás is sokkal kisebb annál, mint amit jelenlegi mérőeszközeinkkel ki tudunk mutatni.

c) *A testben kémiai reakció játszódik le.* A kémiai reakcióban vagy az anyag részecskéinek szétesése, vagy egyszerűbb részecskéknél összeépülése játszódik le. Mindkét folyamatban $E_{0,m}$ változása miatt változik E_0 . Kémiai reakciónál $E_{0,m}$ megváltozását minden esetben a részecskék kinetikai energiájának, esetleg még a részecskék mozgása természetének megváltozása követi. A kémiai reakciók tehát minden esetben hőmérséklet-változással és gyakran halmazállapot-változással kapcsolatosak, és éppen ezekből a változásokból kaphatunk felvilágosítást a mező energiája változásának nagyságára. A mező energiájának, ill. a test belső energiájának a kémiai reakciók során bekövetkező megváltozását a kémiában gyakran önálló

energiafajtának tekintik és kémiai energiának nevezik. A kémiai energiával kapcsolatos tömegváltozás sem mutatható ki jelenlegi mérőeszközeinkkel.

d) *Magreakciók játszódnak le a testben.* Ilyenkor a test belső energiája elsődlegesen a részecskék nyugalmi energiájának változása miatt változik. Ezt a nagymértékű energiaváltozást a test hőmérsékletének, halmazállapotának megváltozása, igen sokszor a test részecskékre való szétesése, sőt a részecskék természetének megváltozása jelzi. Ezzel a nagymértékű belsőenergia-változással kapcsolatos tömegváltozás mérhető, és éppen ennek a tömegváltozásnak megméréssel tudjuk a belső energia megváltozását meghatározni.

Makroszkopikus testek rendszerének teljes energiája a rendszer valamilyen konfigurációjában

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_b + K + \mathcal{E}_m,$$

ahol \mathcal{E}_b a rendszert alkotó testek belső, K pedig a kinetikai energiáinak összege, \mathcal{E}_m a rendszer adott konfigurációjához tartozó mezőenergia. \mathcal{E} összenergia a tapasztalat szerint a rendszernek a környezettel való többféle kölcsönhatása eredményeképpen megváltozhat. Ha az egyes kölcsönhatásokhoz tartozó elemi (differenciális) energiaváltozásokat $D_i\mathcal{E}$ -vel jelöljük, akkor a rendszer teljes energiájának $d\mathcal{E}$ megváltozását

$$d\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n D_i \mathcal{E}$$

adja. (Ha pl. csak mechanikai és termikus kölcsönhatás van a rendszer és környezete között, akkor

$$d\mathcal{E} = DL + DQ,$$

ahol DL a munkával, DQ a hővel mért energiaváltozást jelenti.) Amennyiben a rendszer zárt, vagyis környezetével semmiféle kölcsönhatásban sincsen, akkor

$$d\mathcal{E} = 0,$$

vagyis *zárt rendszer energiája állandó. Ez az energia megmaradásának tétele.* E tétel nem zárja ki a zárt rendszerben az energiaváltozásokat, csupán azt mondja, hogy ezeknél az energiaváltozások algebrai összege zérus. Ha a zárt rendszerben csak olyan változások jönnek létre, amelyek során csak a rendszer konfigurációja és a rendszer tagjainak kinetikai energiája változik, akkor

$$(d\mathcal{E} =) dK + d\mathcal{E}_m = dK + dU = 0$$

miatt

$$dK = -dU. \quad (11)$$

A változás egyenletes voltát feltételezve (11) a következő alakba írható:

$$K_{II} - K_I = -(U_{II} - U_I),$$

illetőleg

$$K_{II} + U_{II} = K_I + U_I. \quad (12)$$

(11) és (12) azt mondja, hogy amennyiben a *zárt konzervatív rendszerben* csak a rendszer konfigurációját és a rendszer tagjainak kinetikai energiáját érintő változások

mennek végbe, akkor ezeknél a változásoknál a *kinetikai és a kölcsönhatási energia összege változatlan marad*. A kinetikai energiák és a kölcsönhatási energia összegét a rendszer mechanikai energiájának nevezzük. Így (11), ill. (12) a *mechanikai energia megmaradási tételét* fejezi ki.

A konzervatív zárt rendszerekre kimondott mechanikai energia megmaradási tétel idealizáció, mert feltételezi, hogy a rendszer tagjai súrlódás nélkül végzik mozgásukat. Ha a rendszerben a tagok elmozdulása súrlódva történik, akkor a rendszer nem konzervatív többé, s a mechanikai energia imént definiált törvénye nem érvényes rá. Ilyen esetben a következő, korrigált összefüggés írható fel a rendszerre:

$$K_1 + U_1 = K_{II} + U_{II} + W_s,$$

ahol W_s a súrlódási munkát jelenti.

B. Az új általános iskolai tanterv alapján készült 6. osztályos fizika tankönyv, amelynek egész anyaga a kölcsönhatás és az energia — mint két csomópont — köré tömörül, az energiával kapcsolatban az itt elmondottaknak a 12—13 éves tanulók szintjére leegyszerűsített lényegét adja. A tanulók mindenek előtt egy olyan általános energiafogalommal ismerkednek meg, amely részben a többi természettudomány számára jól használható, részben pedig tartalmát tekintve az általános iskolára épülő iskolák mindegyikében, de az önművelés során is nehézség és törés nélkül bővíthető és mélyíthető. Ezt az energiafogalmat a tankönyv nem definícióba sűrítve, hanem tartalmának több egymásra épülő tanórán történő kifejtésével adja meg. Így a tanulók — a fogalmat megismertető 4—5 tanóra után — az energiáról a következőket tudják: „A testeknek és a mezőknek van olyan képessége, hogy kölcsönhatás közben más test hőmérsékletét emelhetik, sebességét növelhetik, feszítettségét fokozhatják, esetleg másképpen változtathatják meg állapotát. A testeknek, mezőknek ezt a képességét az energiával jellemezzük. — Kölcsönhatás közben mindkét résztvevő állapota, s így energiája is változik. Az egyik résztvevő energiája csökken, a másiké nő.” [8]. A tankönyv idézett szövegével kapcsolatban két dologra érdemes figyelni. A szöveg az energiát nem a testek, mezők képességeként, hanem egy test vagy mező képessége mennyiségi jellemzőjeként kezeli. Vegyük továbbá észre, hogy a szöveg utolsó mondata nem az energiamegmaradás törvényét fogalmazza meg (hiányzik u. is belőle az energianövekedés — energiacsökkenés egyenlősége), hanem csupán a kísérletek alapján megfigyelteket rögzíti. Az energiamegmaradás törvényének kimondására a tanítás során később, a belső energia megismerése után kerül sor, amikor is a törvény a belső energiaváltozások egy részére kísérletileg igazolhatóvá válik.

Ebben a 4—5 órás tananyagrészen ismerkednek meg a tanulók a legfontosabb energiafajtákkal, így a mozgási, rugalmas, kémiai és belső energiával, valamint a mező energiája, illetőleg energiaváltozása fogalmával. A kölcsönhatási energiát az általános iskolában nem tanítjuk. Erre csak az általános iskolára épülő felsőbb iskolákban kerül sor.

Az energia általános fogalmának kialakítása után kerül bevezetésre a munka fogalma, mint az erőhatás- és elmozdulással járó kölcsönhatásoknál bekövetkező energiaváltozás nagyságát megadó mennyiség.

A belső energia fogalmának — az életkori sajátosságok által megszabott keretek között — viszonylag pontos kialakítását teszi lehetővé a kémiai anyag korpuszkuláris felépítettségének a tanítása. Ennek ismeretében a tanulók a belső energiáról a következőket tudják: „A szilárd testek és a folyadékok belső energiája részecskéik rezgésével kapcsolatos. Minél nagyobb távassággal rezegnek egy adott test részecskéi, annál nagyobb a test belső energiája. — A gázok belső energiája annál nagyobb, minél nagyobb a részecskék mozgási energiáinak összege.” [8].

A belső energia változtatási módjai közül a tananyagban a sűrűdési munkával történő belsőenergia-növelés és a termikus kölcsönhatás révén bekövetkező belső-energia-változás szerepel. Amikor pedig ez után megfogalmazódik a tapasztalat: „A belső energia munkavégzéssel és termikus kölcsönhatással is megváltoztatható” [8], akkor tulajdonképpen a termodinamika első főtételét fogalmaztuk meg. E részben vezeti be a tankönyv a hőmennyiség fogalmát, amelyet a belső energia termikus kölcsönhatás közben bekövetkező változásaként definiál.

Amint erre már korábban utaltunk, a kalorimetriás mérések eredményeinek általánosítása alapján kerül első ízben megfogalmazásra az energiamegmaradás törvénye, mégpedig a következő formában: „Amennyivel csökken egy kölcsönhatás közben az egyik résztvevő energiája, annyival nő a másiké.” [8].

Úgy gondolom, hogy az elmondottak eléggé igazolják, hogy az új 6. osztályos fizika tankönyv az energia bevezetése során messzemenően igyekezett érvényesíteni a tudományosság elvét.

IRODALOM

- [1] B. M. YAVORSKY—A. A. PINSKY: Fundamentals of Physics, MIR Publishers, Moscow, 1975.
- [2] B. M. JAVORSKI—A. A. DETLAF: Fizikai Zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [3] FEYMAN: Mai fizika 1. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- [4] Brockhaus ABC Physik. VEB F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig, 1973.
- [5] Modern fizikai kisenciklopédia. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [6] BOR P.—HALÁSZ T.—KÖVESDI P.: Az energia és a munka fogalmának kialakítása a 6. osztályos új fizika tankönyvben. A Fizika Tanítása, 4., 1977.
- [7] Tanári kézikönyv a fizika 6. osztályos tanításához. OPI Pedagógus Továbbképzés Könyvtára, Budapest, 1978.
- [8] Fizika 6. Munkakönyv. Tankönyvkiadó, Budapest.

ÜBER DIE ENERGIE

PÁL KÖVESDI

Im ersten Teil der Studie stellt der Verfasser einen Energiebegriff auf, der dem Prinzip der Nahwirkung und den Ergebnissen der speziellen Relativitätstheorie entspricht; er erläutert ferner die Beziehung von Energie und Arbeit bzw. Energie und Wärme nach dem heutigen Standpunkte der Physik.

Im zweiten Teil wird kurz darauf hingewiesen, wie die im ersten Teil umrissenen Feststellungen sich im gegenwärtigen Physik-Lehrbuch der Grundschule widerspiegeln.

ОБ ЭНЕРГИИ

ПАЛ КӨВЕШДИ

В первой части работы автор выдвигает такое понятие энергии, которое соответствует принципу близкодействия и результатам специальной теории относительности. Далее рассматривается связь работы и энергии, энергии и тепла согласно современной точке зрения физики. Во второй части работы кратко указывается на то, каким образом рассмотренные в первой части явления получают отражение в учебниках физики, составленных для общеобразовательных школ.